

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЯТА В ОСИТЕ НА ДВИГАТЕЛНИТЕ КОЛООСИ НА ТРАМВАЙНИТЕ МОТРИСИ В ГРАД СОФИЯ

Емил М. Михайлов

emm_1968@abv.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
ул. „Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: трамвайни мотриси, колооси, оси, якостен анализ, метод на крайните елементи.

Резюме: Материалът се отнася за осите на двигателните колооси на трамвайните мотриси в град София. Разгледани са осите на двигателните колооси на основните типове трамвайни мотриси в парка на „Столичен електротранспорт“ ЕАД, движещи се в момента. С помощта на Метода на крайните елементи е направен якостен анализ и са определени напреженията в осите от статично натоварване и в тягов режим на движение. Определени са застрашените сечения. Взети са под внимание различните осеви натоварвания, кинематични схеми, както и прилагането на двигателния момент при различните типове трамвайни мотриси.

УВОД

Осите на трамвайните колооси, както и на всички релсови возила са едни от най-отговорните и натоварени елементи от ходовата им част и от конструкцията им като цяло. Те са елементите от ходовата част, които предават вертикалните сили от натоварването на возилото към пътя и поемат всички натоварвания от двигателните и спирачните сили.

От направеният в [1] преглед на ходова част и силово предаване на трамвайните мотриси (ТМ) в град София се вижда, че в кинематичните схеми на силовото предаване има разнообразие. При някои от конструкциите прилагането на двигателния и спирачния моменти са на различни места. Т.е. двигателния момент се предава чрез колоосния редуктор и има спирачен барабан или диск монтирани на друго място на оста. При други спирачните апарати са монтирани на роторите на тяговите електродвигатели (ТЕД) и двете усилия са предават чрез карданен вал и колоосния редуктор. Друга разлика са различните места на буксите. При мотрисите за нормално междурелсие буксовите лагери са от вътрешната страна на колелата, докато при тези за тясно междурелсие са в краищата на осите.

Тези разлики в конструкцията на силовото предаване определят различните начини на натоварване и съответно различно разпределение на напреженията в осите.

ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Пресмятането на трамвайните колооси става по методите и критериите прилагани при осите на возилата от класическата железница [2, 3, 4, 5]. Освен утвърдените методи за пресмятане в последните години приложение намира Методът на крайните елементи (МКЕ).

При трамваите, поради разнообразието на кинематичните схеми на вертикалното натоварване и силовото предаване напреженията в осите са различни по разпределение и големина. Това означава, че и застрашените сечения са на различно място в зависимост от местата на прилагане на силите и моментите.

Осите не са изследвани в режим на екстрено задържане, подобно на локомотивните оси. Причината за това е, че трамваите са возила предназначени за движение в градски условия, което изисква по-къс спиращ път. С тази цел при аварийно спиране успоредно с механичната спирачка се задейства и електро-магнитно релсовата спирачка (ЕМРС), която повишава ефективността на спирането и разтоварва напреженията в колоосите.

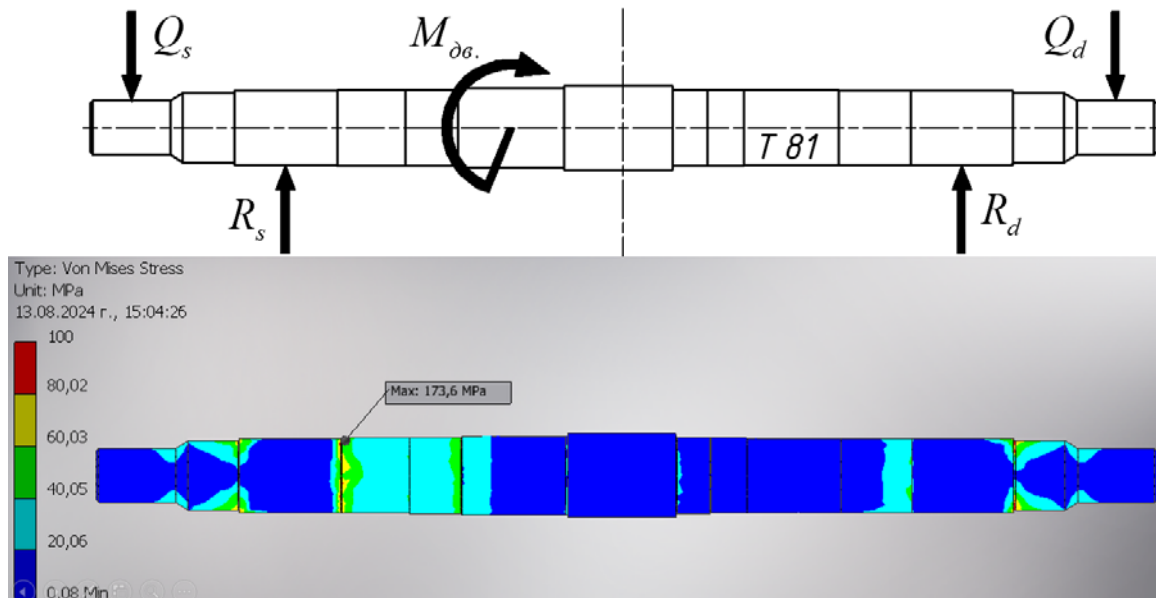
ПРЕСМЯТАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЯТА

Настоящото изследване е направено по МКЕ, като всяка ос е натоварена със силите и моментите, с които е натоварена в практиката. Т.е. вертикалното осево натоварване, разпределено по равно между двете колела и приложения към оста двигателен въртящ момент.

На фигурите са посочени местата на максимални стойности на напреженията. За онагледяване на преобладаващите напрежения по осите скалите са съобразени с разпределението им.

Оси за тясно междурелсие с групово задвижване на колоосите

На фигура 1. са показани изчислителната схема за осите на талиги тип *T 81* и резултата от пресмятане на напреженията.

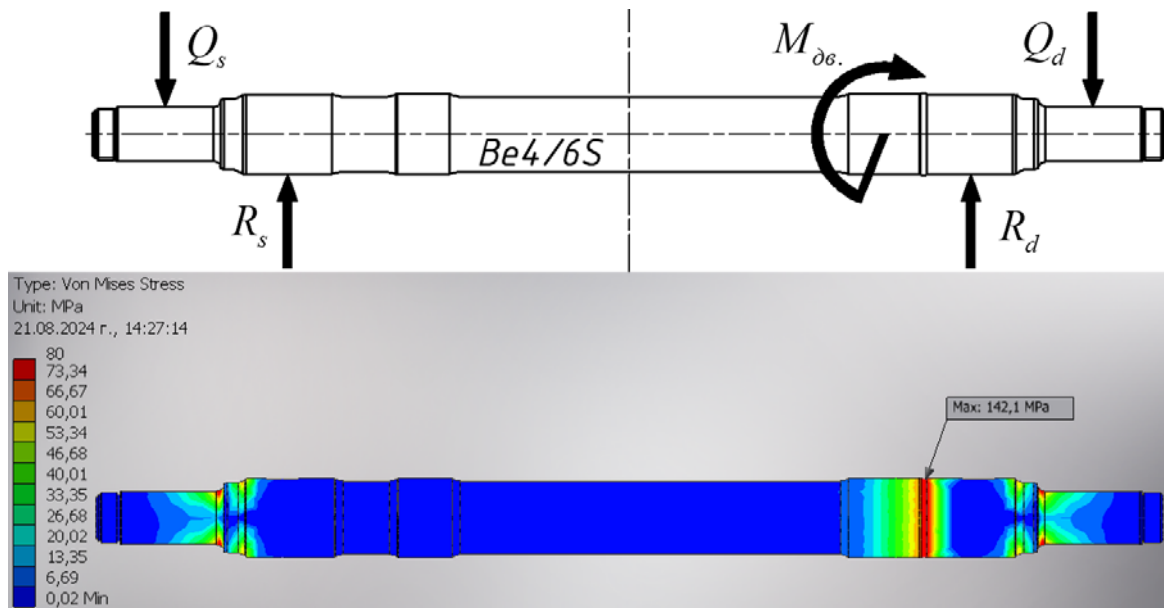


Фиг. 1. Напрежения в осите на ТМ тип *T 81*.

Максималното напрежение $173,6 \text{ MPa}$ е концентрирано в прехода между шийката, където лагерува корпуса на колоосния редуктор и свободната шийка към колелото. Това обяснява, макар, и редките случаи на късане на оста в този преход. Същевременно

и по-големите напрежения в оста са в участъка между лагерната шийка и главината на зъбното колело.

На фигура 2. са изчислителната схема и за осите на *Schindler/Siemens* и резултата от пресмятане на напреженията.

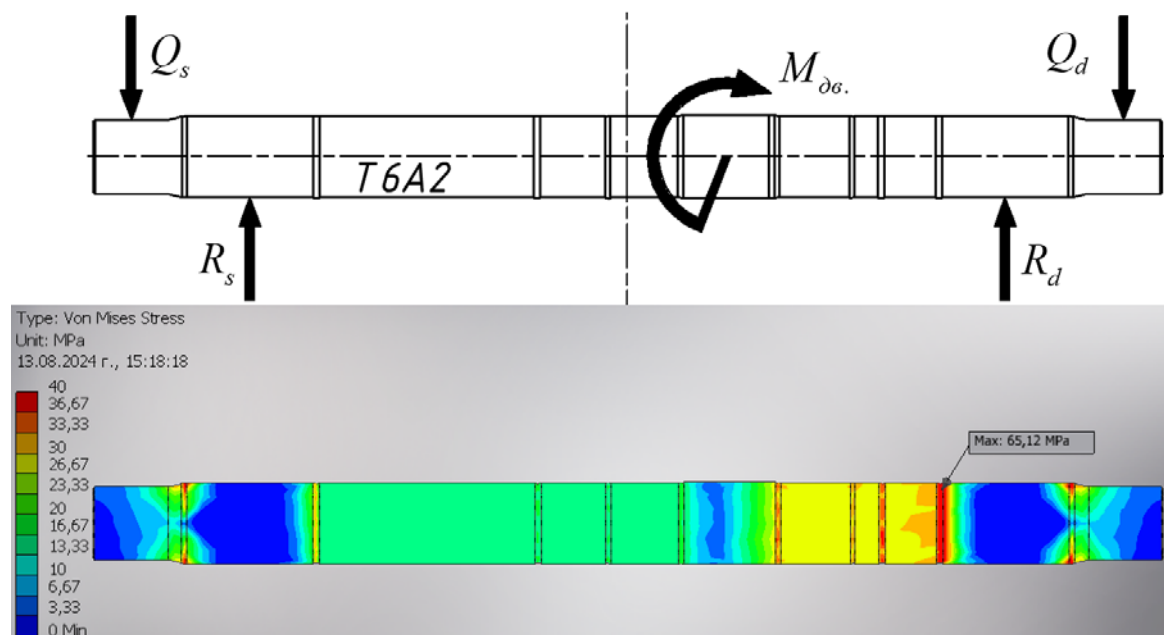


Фиг. 2. Напрежения в осите на ТМ тип *Be4/6S*.

Максималната стойност на напрежението $142,1 \text{ MPa}$ е в прехода между подглавинната шийка на колелото и шийката на главината на еластичния съединител.

Оси за тясно междурелсие с индивидуално задвижване на колоосите

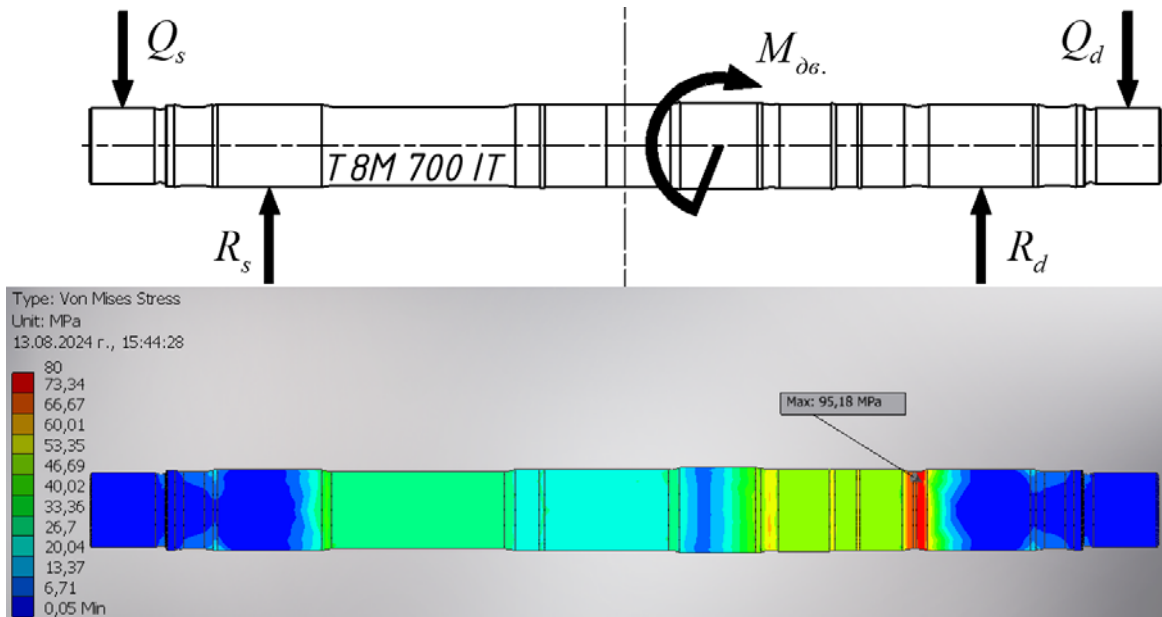
На фигура 3. са изчислителната схема и за осите на ТМ тип *T6A2* и резултата от пресмятане на напреженията.



Фиг. 3. Напрежения в осите на ТМ тип *T6A2*.

Максималното напрежение $65,12 \text{ MPa}$ е в прехода между подглавинната шийка на колелото и преходната шийка към колоосния редуктор.

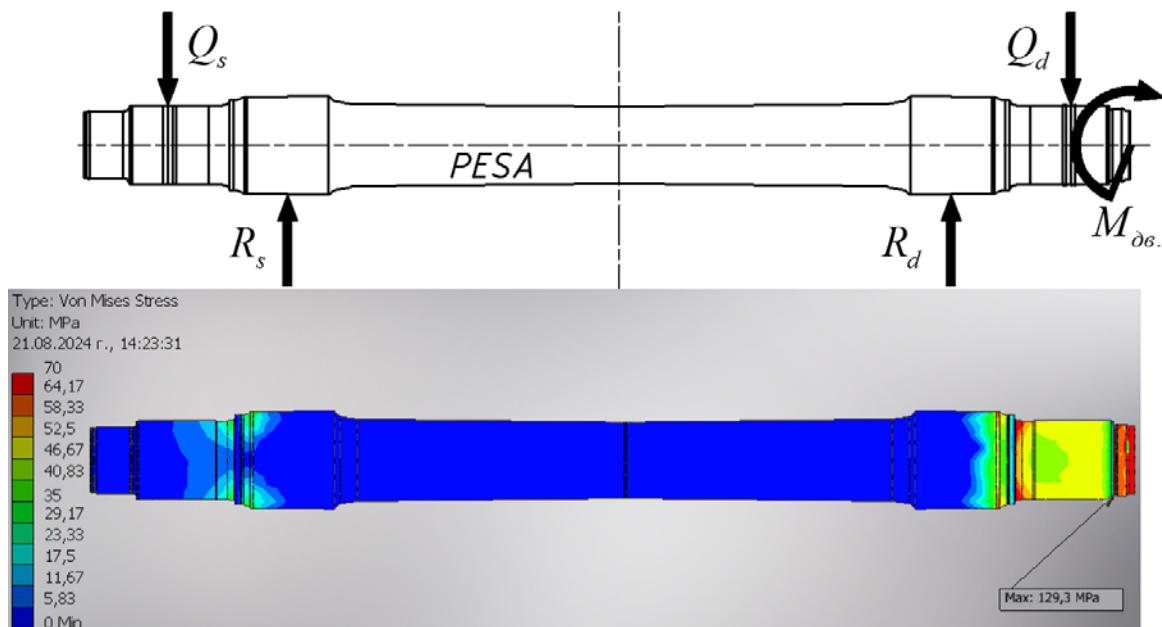
На фигура 4. са изчислителната схема и за осите на ТМ тип *T8M 700 IT* и резултата от пресмятане на напреженията.



Фиг. 4. Напрежения в осите на ТМ тип *T8M 700 IT*.

Максималното напрежение $95,18 \text{ MPa}$ е в прехода между подглавинната шийка на колелото и преходната шийка към колоосния редуктор.

На фигура 5. са изчислителната схема и за осите на ТМ тип *PESA 122NaSF Swing* и резултата от пресмятане на напреженията.

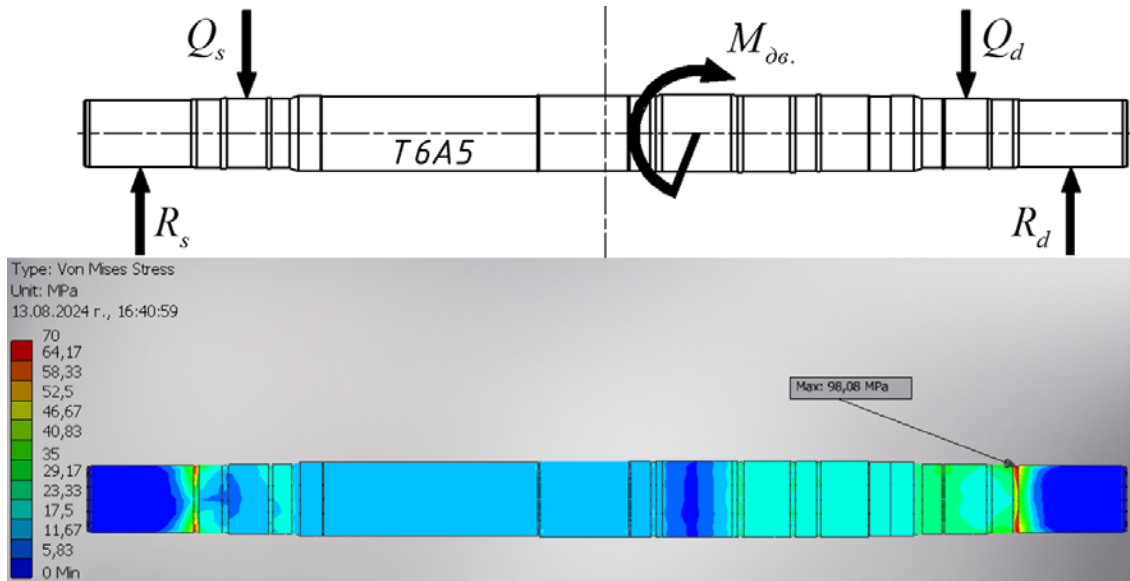


Фиг. 5. Напрежения в осите на ТМ тип *PESA 122NaSF Swing*.

Максималното напрежение $129,3 \text{ MPa}$ е в челната стена с шлиците, приемащи движението от еластичния съединител към колоосния редуктор.

Оси за нормално междурелсие с индивидуално задвижване на колоосите

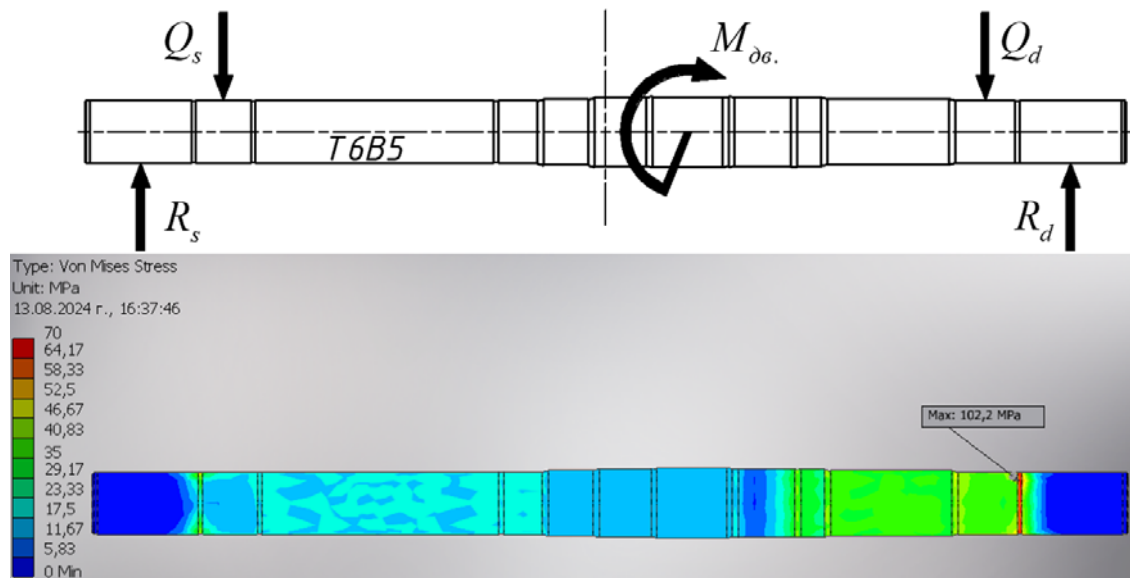
На фигура 6. са изчислителната схема и за осите на ТМ тип *T6A5* и резултата от пресмятане на напреженията.



Фиг. 6. Напрежения в осите на ТМ тип *T6A5*.

Максималното напрежение 98,08 *MPa* е в прехода между подглавинната шийка на колелото и шийката на буксовия лагер.

На фигура 7. са изчислителната схема и за осите на ТМ тип *T6B5* и резултата от пресмятане на напреженията.



Фиг. 7. Напрежения в осите на ТМ тип *T6B5*.

Максималното напрежение 102,2 *MPa* е в прехода между подглавинната шийка на колелото и шийката на буксовия лагер.

ОБОБЩЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Получените резултати са нанесени в Таблица 1. Освен максималните стойности на напреженията и деформациите са изнесени и стойностите на преобладаващите напрежения по тялото на осите.

Местата на максималните напрежения са посочени на фигурите, отнасящи се за отделните оси. В зоните на максималните напрежения са и максималните деформации, като водещи са деформации на усукване.

Таблица 1.

Тип	Напрежения		Деформации, <i>mm</i>
	Максимални, <i>MPa</i>	Преобладаващи, <i>MPa</i>	
T 81	173,60	35 - 60 (70)	0,09495
Be4/6S	142,10	10 - 30 (40)	0,10930
T6A2	65,12	15 - 40 (45)	0,05943
T8M 700 IT	95,18	30 - 45 (60)	0,12080
PESA 122NaSF	129,30	30 - 45 (60)	0,11020
T6A5	102,20	15 - 30 (65)	0,14020
T6B5	98,08	15 - 35 (55)	0,13060

В графата „преобладаващи напрежения“ са показани стойностите на напреженията, които са обширни зони по тялото на осите. В скоби са показани стойности на напреженията в отделни зони, обикновено в разтоварващите преходи между шийките.

От получените резултати може да се направи извода, че осите на двигателните трамвайни колооси работят при натоварвания значително по-ниски от критичните. В резултат - максималните напрежения са ниски и са предимно в зоните между главините на задвижващите зъбни колела и близкото колело на колооста. При повечето оси се отчитат ниски преобладаващи напрежения разпределени в големи зони и същевременно големи локални напрежения, близки до максималното. Това обяснява липсата на случаи на късане на осите в последните 15 - 20 години, с изключение на два случая при колоосите тип T81.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеното изследване показва сравнително ниски напрежения в осите на двигателните колооси на трамвайните мотриси движещи се в град София, като дори максималните стойности на напреженията са значително по-ниски от критичните стойности за използваните стомани.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Емил М. Михайлов, „Преглед на ходова част и силово предаване на трамвайните мотриси в град София“, МНК „ТСТТ-2024“, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2024 г.,
- [2] Васко Николов, „Сравнителен анализ на якостните характеристики на осите на електрически локомотиви серии 43, 44, 45 и 46“, „Механика Транспорт Комуникации“, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2009 г., МТС АЖ, ISSN 1312- 3823, ISSN 2367-6620, брой 3, 2009 г., № 0416.
- [3] Васко Николов, „Моделиране и якостен анализ на колоосите на локомотиви серия 86“, „Механика Транспорт Комуникации“, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2018 г., МТС АЖ, ISSN 1312- 3823, ISSN 2367-6620, том 16, брой 3/3, 2018 г., № 1678.
- [4] Ваньо Ралев, Добринка Ахмаджова, „Якостни изчисления на колооси за пътнически талиги“, „Механика Транспорт Комуникации“, ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2019 г., МТС АЖ, ISSN 1312- 3823, ISSN 2367-6620, том 17, брой 3, 2019 г., № 1834.
- [5] Васко Николов, „Изследване на локомотивни колооси като фактор за безопасността в железопътния транспорт“, Монография, годишник на ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2021 г.,

STUDY OF THE AXLE STRESSES IN THE MOTOR WHEELSETS OF THE TRAM IN SOFIA

Emil M. Mihaylov

emm_1968@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia 1574,
BULGARIA*

Key words: *trams, wheelsets, axle, strength analysis, finite element analysis.*

Abstract: *The material pertains to the axles of motor wheelsets in the trams operating in the city of Sofia. This paper examines the axles of the motor wheelsets for the primary types of trams currently in service within the fleet of Sofia Public Electrical Transport Company JSC. A strength analysis was conducted using the Finite Element Method to determine the stresses on the axles under static loading and traction mode. The critical cross-sections were identified. The study also considers varying axle loads, kinematic schemes, and the application of driving moments across different tram types.*